

Оригинальная статья

УДК 502/504:631.671

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-28-35

## РАСЧЕТ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ КРАСНОГО КЛЕВЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСПАРЕНИЯ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ

**ПЧЁЛКИН ВИКТОР ВЛАДИМИРОВИЧ**, д-р техн. наук, профессор

9766793@mail.ru

**СЕРГЕЕВА АЛЕНА МИХАЙЛОВНА**, аспирант

leka-89@list.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

*Предметом исследований является разработка метода расчета водопотребления красного клевера с использованием данных о испарении с водной поверхности, направленного на повышение точности его определения и экономии водных ресурсов, на водоразделах Нечерноземной зоны России. Объектом исследований суммарного водопотребления красного клевера являются дерново-подзолистые почвы и почвенная влага водораздельных площадей при выращивании кормовых культур. Экспериментальные опыты проводились на делянках, в лизиметрах и лаборатории, в различные по метеорологическим условиям годы. При обработке и анализе научных исследований использовались учение о перетоке подземных вод, данные лизиметрических исследований, данные натурных опытов, корреляционный и регрессивный анализ. Водобалансовые исследования выполнялись на научной базе, расположенной в Московской области, по методике, разработанной Ю.Н. Никольским, В.В. Пчёлкиным. Опыты, проведенные в лизиметрах и на делянках в 2015-2017 гг., послужили основой для разработки формулы определения водопотребления красного клевера с использованием испарения с водной поверхности на водоразделах Нечерноземной зоны России.*

**Ключевые слова:** суммарное испарение, орошение, испаряемость, вода, красный клевер, почва

**Формат цитирования:** Пчёлкин В.В., Сергеева А.М. Расчет водопотребления красного клевера с использованием испарения с водной поверхности в условиях Нечерноземной зоны // Природообустройство. – 2022. – № 5. – С. 28-35. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-28-35.

*Данные научные исследования проводились в рамках реализации гранта в субсидии Минобрнауки РФ № 075-15-2021-032 от 23.03.2021 г. на создание и развитие инжинирингового центра на базе образовательной организации высшего образования и (или) научной организации в рамках реализации федерального проекта «Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров» национального проекта «Наука и университет».*

© Пчёлкин В.В., Сергеева А.М., 2022

Original article

## CALCULATION OF WATER CONSUMPTION OF RED CLOVER USING EVAPORATION FROM THE WATER SURFACE IN THE NON-CHERNOZEM ZONE

**PCHELKIN VICTOR VLADIMIROVICH**, doctor of technical sciences, professor

9766793@mail.ru т. 8-916-976-6793

**SERGEeva ALENA MIKHAILOVNA**, post graduate student

leka-89@list.ru

Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev, 127434, Moscow, Timiryazevskaya str., 49, Russia

*The subject of research is the development of a method for calculating the water consumption of red clover using data on evaporation from the water surface, aimed at improving the accuracy of its determination and saving water resources, in the watersheds of the non-chernozem zone*

of Russia. The object of research on the total water consumption of red clover is turf-podzolic soils and soil moisture of watershed areas, when growing fodder crops. Experimental tests were carried out on plots, in lysimeters and laboratories, in different meteorological conditions years. In the processing and analysis of scientific research, the doctrine of groundwater flow, data from lysimetric studies, and data from field experiments, correlation and regressive analysis were used. Water balance studies were carried out on a scientific basis located in the Moscow region, according to the methodology developed by Yu.N. Nikolsky, V.V. Pchelkin. Experiments conducted in lysimeters and plots in 2015... 2017, served as the basis for the development of a formula for determining the water consumption of red clover using evaporation from the water surface in the watersheds of the non-chernozem zone of Russia.

**Keywords:** total evaporation, irrigation, evaporation, water, red clover, soil

**Format of citation:** Pchelkin V.V., Sergeeva A.M. Calculation of water consumption of red clover using evaporation from the water surface in the Non-Chernozem zone // Prirodoobustrojstvo. – 2022. – № 5. – P. 28-35. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-28-35.

**These scientific studies were carried out as part of the implementation of a grant in the subsidy of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. 075-15-2021-032 dated 23.03.2021 for the creation and development of an engineering center on the basis of an educational organization of higher education and (or) a scientific organization as part of the implementation of the federal project «Development of infrastructure for scientific research and personnel training» of the national project «Science and Universities».**

**Введение.** Наибольшая урожайность красного клевера может быть получена при создании для него наилучших условий по режиму влажности почвы на фоне оптимальной агротехники. Эти условия получают при помощи современных гидромелиоративных систем. При проектировании этих систем необходимо определять количественные показатели режима орошения, в том числе суммарное водопотребление, которое является основным расходным элементом водного баланса.

Различные методы определения суммарного водопотребления растений в России были разработаны такими учеными, как А.М. Алпатъев [1], В.В. Бородычев [5], М.И. Будыко [2], А.И. Голованов [3], Н.В. Данильченко [4], Н.Н. Дубенок [5], Н.Н. Иванов [6], А.Р. Константинов [7], А.Н. Костяков [8], Ю.Н. Никольский [10], В.П. Остапчик [1], В.В. Пчёлкин [11], Р.А. Чечко [5] и др.

За рубежом вопросами расчета суммарного водопотребления растений занимались S.A. Abdel-Hafez [12], N.G. Ainer [14], A.E. Badr [13], G.A. Bakeer [13], V.S. Bocharnikov [16], O.V. Bocharnikova [16], M.T. El-Tantawy [13], H.M. Eid [11], S.D. Fomin [16], C. Kenneth [17], F. Klatt [15], M.A. Metwally [14], V.V. Ovchinnikov [16], O'Shaughnessy [17], Paul D. Colaizzi [14], C. Robert [17], Schwartz [17], Steven R. Evett [17], Stone [17], A. Susan [17], K. Scott [17], T.K. Zin El-Abedin [18] и др.

Анализ известных методов расчета суммарного водопотребления при возделывании красного клевера с использованием испарения с водной поверхности в условиях

Нечерноземной зоны показал их отсутствие в условиях проведения исследований.

По результатам исследований была разработана зависимость для определения суммарного водопотребления при возделывании красного клевера, использовались данные о величине испарения с водной поверхности (испаряемость) для рассматриваемых условий. Получены коэффициенты уравнения регрессии для дерново-подзолистых почв и южно-таежной подзоны Нечерноземья. Установлены биологические коэффициенты для красного клевера и коэффициенты, учитывающие снижение влажности почвы от наилучшего нижнего уровня для красного клевера.

Целью данных исследований является разработка формулы для расчета суммарного водопотребления при возделывании красного клевера с использованием испарения с водной поверхности на водоразделах Нечерноземной зоны России.

**Материалы и методы исследований.** *Климат и почвы.* Климат Среднерусской провинции характеризуется как умеренно-континентальный. Сумма положительных температур воздуха более 10°C за период вегетации составляет 1600 до 2200°C. Продолжительность безморозного периода – 121-129 дней. Среднегодовое количество осадков – 600 мм. Во время вегетации случаются периоды без осадков (от 4 до 30 сут.), что приводит к иссушению почвы и дефициту влаги в ней.

Изменчивость естественного гидротермического режима существенно влияет на урожайность сельскохозяйственных культур по годам,

в том числе на землях, расположенных на возвышенных элементах рельефа местности. По данным Ю.Н. Никольского [10], колебания урожайности на мелиорируемых землях изменяется по годам в пределах  $\pm 20...30\%$  от среднегодовой величины, то есть в пределах колебаний гидротермического показателя  $Oc/LE$ , что в 2 раза превышает максимальную урожайность над минимальной. Дефицит влаги в почве в отдельные периоды вегетации культурных растений вызывает необходимость орошения земель, расположенных на водораздельных территориях, что позволяет увеличивать урожайность сельскохозяйственных культур на  $20...50\%$ . Из этого следует, что орошение необходимо.

В европейской части южно-таежной подзоны сформировались в основном дерново-подзолистые почвы. Основные параметры водно-физических характеристик почвы участка исследований в слое 0-1,2 м: плотность естественного сложения почвы по площади и глубине составляет  $1,37...1,80 \text{ г/см}^3$ ; плотность твердой фазы почвы колеблется по глубине в диапазоне от  $2,40$  до  $2,70 \text{ г/см}^3$ ; изменение пористости почвы составляет  $0,43...0,35$  в долях от объема,  $\text{см}^3/\text{см}^3$ ; полная влагоемкость (ПВ) колеблется от  $0,40$  до  $0,31$  в долях от объема,  $\text{см}^3/\text{см}^3$ ; предельная полевая влагоемкость (НВ) составляют  $0,37...0,25$  в долях от объема,  $\text{см}^3/\text{см}^3$ ; максимальная гигроскопичность мало меняется по профилю и изменяется от  $0,055$  до  $0,04$  в долях от объема,  $\text{см}^3/\text{см}^3$ .

Изменение содержание гумуса составляет от  $1,08$  до  $3,69\%$  и в среднем по опытному участку –  $2,34\%$ . Кислотность почвы по  $\text{pH}_{\text{сол}}$  составила  $6,6-7,7$ . Содержание нитратного азота ( $\text{NO}_3$ ) составило  $19,9-25,3 \text{ мг/кг}$ , аммонийного ( $\text{NH}_4$ ) –  $6,43-13,18 \text{ мг/кг}$ , фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) –  $6,43-13,18 \text{ мг/кг}$ , калия ( $\text{K}_2\text{O}$ ) –  $55,49-78,62 \text{ мг/кг}$ .

*Описание участка научных исследований.* Участок научных исследований размещен на возвышенном элементе рельефа местности в центре южно-таежной подзоны европейской части России Федерации, Московской области.

На участке научных исследований были расположены опытные делянки с красным клевером (4 делянки), лизиметры (3 лизиметра), система орошения (насосная станция колодезного типа, распределительный водопровод, поливные водопроводы, гидранты для распыления дождя, бак для воды  $3 \text{ м}^3$ , водисточник – поселковый водопровод), дождемеры (2 осадкомера ГГИ 3000). На каждой делянке, кроме системы орошения, установлены трубы для измерения глубины грунтовых вод, и на каждой площадке – полимерные трубы для измерения влажности почвы. В каждом

лизиметре установлены полимерные трубы для измерения влажности почвы.

На экспериментальном участке исследовались разнообразные режимы влажности увлажняемого горизонта дерново-подзолистой почвы возвышенных элементов рельефа местности и связь ее с продуктивностью красного клевера.

Площадь делянок составляла  $80 \text{ м}^2$  каждая. При этом все делянки делили на 4 площадки  $3,2 \times 3,2 \text{ м}$ . Влажность почвы поддерживалась с помощью поливов в следующем диапазоне: 1 вариант –  $(0,60...0,70)$  ПВ; 2 вариант –  $(0,70...0,80)$  ПВ; 3 вариант –  $(0,80...0,90)$  ПВ; 4 – контроль (без орошения). При снижении влажности почвы до нижней границы в течение вегетации красного клевера (1-0,6 ПВ; 2-0,7 ПВ; 3-0,8 ПВ) назначали поливы.

Полив красного клевера в 2015-2017 гг. осуществлялся при помощи оросительной системы Rain Bird (модель 1812). В центре делянок были смонтированы гидранты, представлявшие собой форсунки дождя с телескопической частью.

Вода к гидранту подавалась по оросительной сети. Для этого под землей был проложен распределительный трубопровод диаметром  $32 \text{ мм}$ , сопряженный с поливными трубопроводами (ПТ) диаметром  $20 \text{ мм}$ . Вода на полив забиралась из поселкового водопровода. Сначала (до полива) вода подавалась в пластмассовую емкость объемом  $3 \text{ м}^3$ , далее из емкости она подавалась по соединительному водоводу к насосу, затем от него попадала к гидрантам и форсункам, которые распыляли воду в виде дождя на делянках.

Влажность почвы определялась в слое  $0,5 \text{ м}$ . Данный слой делили на 5 горизонтов, в которых производили измерения влажности почвы прибором TRIME-FM3. Каждый горизонт для измерения влажности почвы составлял  $0,1 \text{ м}$ . Такое деление обусловлено зоной влияния датчика влагомера TRIME – FM3. Осадки измеряли осадкомером ГГИ 3000, поливные нормы рассчитывались и измерялись с помощью расходомеров, установленных на поливных водоводах, просачивание влаги в почве определяли в лизиметрах с помощью труб инфильтрации. Суммарное водопотребление в лизиметре рассчитывали с помощью уравнения водного баланса (1) на основании измеренных элементов водного баланса  $W, Oc, m, -q$  (условные обозначения даны ниже, в разделе 2.3).

Глубина лизиметра с поддоном составляла  $2 \text{ м}$ , а диаметр –  $1,6 \text{ м}$ . Лизиметры заряжали монолитом дерново-подзолистой почвы с нарушенным сложением. Содержание NPK, гумуса и другие агрохимические показатели

почвы определяли в лаборатории ООО ЦСЭМ «Московский» по стандартным методикам.

*Расчет водопотребления и режима орошения.* Формула взаимосвязи между элементами водного баланса аэрированного слоя почвы лизиметров и деженок представлена, мм, как

$$E = W_n - W_k \pm q + O_c + m, \quad (1)$$

где  $E_n$  – суммарное испарение красного клевера;  $W_k$  – конечные и начальные влагозапасы почвы;  $\pm q$  – влагообмен корнеобитаемого слоя почвы с нижележающими горизонтами;  $-q$  – просачивание влаги в почву;  $+q$  – капиллярное увлажнение зоны аэрации со стороны грунтовых вод;  $O_c$  – дождевые осадки;  $m$  – норма полива.

Составляющие водного баланса  $W$ ,  $O_c$ ,  $m$ ,  $-q$  измерялись, а суммарное водопотребление при возделывании красного клевера  $E_p$  вычислялось как неизвестное.

Определение потенциального суммарного водопотребления при возделывании красного клевера производилось по формуле (2), предложенной В.В. Пчёлкиным [11]:

$$E_p = a \sum_{i=1}^{nd} d_{si}^b, \quad (2)$$

где  $E_p$  – потенциальное суммарное водопотребление при возделывании красного клевера, мм/дек.;  $a$ ,  $b$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от климатической зоны, типа почвы и культуры;  $nd$  – число декад за период вегетации красного клевера;  $\sum d_{si}$  – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха в  $i$  декаду периода вегетации, мм/дек.

**Результаты и их обсуждение.** Существующие расчетные методы используют эмпирические зависимости, выражающие корреляционные связи между суммарным водопотреблением и климатическими факторами по данным метеорологических наблюдений. Значительное количество метеорологических станций измеряет испарение с водной поверхности, которое используется при определении суммарного водопотребления в формулах Н.Н. Иванова [6], Х.Л. Пенмана, Л. Тюрка [9] и др. Для перехода от испаряемости к суммарному водопотреблению при возделывании конкретной культуры следует вводить переходные коэффициенты  $K_{pp}$ ,  $K_\delta$ ,  $K_b$ , учитывающие отклонение потенциального водопотребления от испаряемости, биологические особенности сельскохозяйственной культуры, отклонение влажности почвы от оптимальных значений:

$$E_{pp} = K_{pp} K_\delta K_b E_o, \quad (3)$$

где  $E_o$  – испарение с водной поверхности (испаряемость), мм/дек.;  $E_{pp}$  – суммарное водопотребление при возделывании красного клевера, мм/дек.;  $K_{pp}$  – коэффициент, учитывающий отклонение потенциального суммарного водопотребления ( $E_p$ ) от испаряемости,  $E_o$ ;  $K_\delta$  – биологический коэффициент;  $K_b$  – коэффициент, учитывающий влажность почвы.

С целью определения  $K_{pp}$  были выполнены опыты по измерению испарения с водной поверхности (испаряемости) с помощью испаромера ГГИ-3000 и определению потенциального суммарного водопотребления при возделывании красного клевера в лизиметрах. Увлажненность почвы в лизиметрах выдерживалась в наилучших пределах (70-80% ПВ) [11] в течение вегетации исследуемой культуры.

Применяя данные испарения с водной поверхности (испаряемость) и сумму среднесуточных дефицитов влажности воздуха за декадные периоды, установили зависимость между данными величинами (4):

$$E_o = a_1 d_s^{n_1}, \quad (4)$$

где  $a_1$ ,  $n_1$  – эмпирические коэффициенты,  $a = 0,58$ ;  $n = 0,99$ .

Используя результаты лизиметров по потенциальному суммарному водопотреблению при возделывании красного клевера при оптимальной влажности почвы и сумму среднесуточных дефицитов влажности воздуха за декадные периоды, получили формулу (5):

$$E_p = a_2 d_s^{n_2}, \quad (5)$$

где  $d_s$  – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха, мм/дек.;  $E_p$  – потенциально возможное суммарное водопотребление при возделывании красного клевера, мм/дек.;  $a_2$ ,  $n_2$  – коэффициенты уравнения регрессии, учитывающие климатическую зону и почвы, составляющие 1,31 и 0,77 соответственно.

С помощью зависимостей (4) и (5) определялись потенциальное суммарное водопотребление при возделывании красного клевера ( $E_p$ ) и испарение с водной поверхности ( $E_o$ ). Данные определения испарения с водной поверхности ( $E_o$ ), потенциального суммарного испарения ( $E_p$ ) и коэффициентов связи испаряемости с суммарным водопотреблением при возделывании красного клевера ( $K_{pp}$ ) представлены в таблице 1.

Коэффициенты ( $K_{pp}$ ) связи испарения с водной поверхности с потенциальным суммарным водопотреблением при возделывании красного клевера определяли по формуле:

$$K_{pp} = E_p / E_o, \quad (6)$$

где  $E_p$  – потенциально возможное водопотребление при возделывании красного клевера, мм/дек.;  $E_o$  – испарение с водной поверхности (испаряемость), мм/дек.

При использовании значения испаряемости ( $E_o$ ) и коэффициентов перехода  $K_{pp}$  (табл. 2) были составлены статистические ряды и получено уравнение регрессии.

При расчете суммарного водопотребления при возделывании красного клевера было применено уравнение (7) [11]:

$$E_{pp} = K_o a_2 d_s^{n_2}. \quad (7)$$

Таблица 1

Данные определения испарения с водной поверхности ( $E_0$ ), потенциального суммарного водопотребления ( $E_p$ ) и коэффициентов связи испаряемости с суммарным водопотреблением при возделывании красного клевера ( $K_{рп}$ )

Table 1

Data on the determination of evaporation from the water surface ( $E_0$ ), potential total water consumption ( $E_p$ ) and coefficients of the relationship of evaporation with total water consumption in the cultivation of red clover ( $K_{рп}$ )

Год	Дек., №	Месяц	Декада	$d_s$	$E_0$	$E_p$	$K_{рп}$
2015	1	VI	3	39	22	22	1
	2		1	78	43	38	0,88
	3		2	69	38	35	0,92
	4		3	73	41	36	0,88
	5	VII	1	80	44	38	0,86
	6		2	69	38	34	0,89
	7		3	28	15	17	1,13
	8	VIII	1	45	25	25	1
2016	1	V	1	62	35	31	0,88
	2		2	37	21	21	1
	3		3	48	27	26	0,96
	4	VI	1	31	17	18	1,06
	5		2	51	28	27	0,96
	6		3	75	42	37	0,88
	7	VII	1	59	33	30	0,91
	8		2	71	39	35	0,90
	9		3	66	37	33	0,89
	10	VIII	1	80	44	38	0,86
2017	1	V	1	43	24	24	1
	2		2	43	24	24	1
	3		3	56	31	29	0,93
	4	VI	1	36	20	21	1,05
	5		2	38	21	22	1,04
	6		3	52	29	27	0,93
	7	VII	1	22	12	14	1,17
	8		2	49	27	26	0,96
	9		3	67	37	33	0,89
	10	VIII	1	60	33	31	0,94

Биологические коэффициенты  $K_b$  представлены в таблице 2 [11].

Данные рисунка 1 показывают, что коэффициент корреляции закономерности изменения расчетного суммарного водопотребления ( $E_{рп}$ ) от фактического суммарного водопотребления при возделывании красного клевера ( $E_f$ ) составляет  $0,937 \pm 0,0697$ . Это доказывает плотность рассматриваемой связи.

С повышением влажности почвы суммарное водопотребление при возделывании красного клевера возрастает до 0,72 ПВ. Последующее повышение влажности почвы существенно не влияет на величину суммарного водопотребления при возделывании красного клевера.

Коэффициенты влажности ( $K_v$ ) почвы представлены в таблице 3.

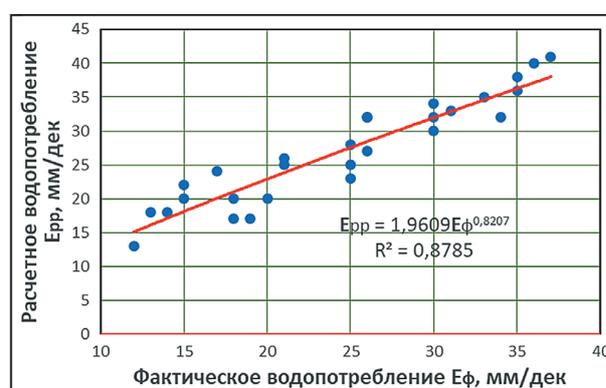


Рис. 1. Закономерность изменения расчетного суммарного водопотребления ( $E_{рп}$ ) от фактического суммарного водопотребления при возделывании красного клевера ( $E_f$ )

Fig. 1. Regularity of changes in the estimated total water consumption ( $E_{рп}$ ) from the actual total water consumption during the cultivation of red clover ( $E_f$ )

Биологические коэффициенты  $K_b$ , расчетное водопотребление красного клевера  $E_{рф}$  и  $E_{рр}$  и фактические значения водопотребления  $E_{ф}$

Table 2

Biological coefficients  $K_b$ , estimated water consumption of red clover  $E_{рф}$  and  $E_{рр}$  and actual values of water consumption of  $E_{ф}$

Год	Месяц	Декада	$K_b$	$E_{рф}$	$E_{рр}$	$E_{ф}$	
2015	V	1	0,49	10	11	-	
		2	0,62	27	23	-	
		3	0,7	25	25	25	
	VI	1	0,84	36	30	34	
		2	0,91	38	35	38	
		3	0,98/0,85	33	34	27	
	VII	1	1,00	14	17	24	
		2	1,01	23	25	21	
		3	1,00	31	31	33	
	VIII	1	0,98/0,83	20	21	26	
	2016	V	1	0,49	12	15	20
			2	0,62	11	13	18
3			0,74	20	19	17	
VI		1	0,84	16	18	17	
		2	0,91	24	25	28	
		3	0,98/0,85	32	36	40	
VII		1	1,00	27	30	30	
		2	1,01	32	35	36	
		3	1,00	29	33	35	
VIII		1	0,98/0,83	32	37	41	
2017		V	1	0,49	12	12	13
			2	0,62	15	15	22
	3		0,74	20	21	31	
	VI	1	0,84	18	18	20	
		2	0,91	21	20	20	
		3	0,98/0,85	25	26	27	
	VII	1	1,00	16	14	18	
		2	1,01	25	26	32	
		3	1,00	25	26	32	
	VIII	1	0,98/0,83	29	30	32	

Таблица 3  
Коэффициент, определяющий снижение влажности почвы [11]

Table 3

Coefficient determining the decrease in soil moisture [11]

Влажность почвы Soil moisture	(0,72-0,8) ПВ	0,7 ПВ	0,57 ПВ
$K_b$	1	0,93	0,74

По зависимостям (3) и (7) было осуществлено определение  $E_{рр}$  и  $E_{рф}$ . Данные расчета рассматриваемых величин представлены в таблице 2. По результатам расчета получена прямая связи данных величин (рис. 2).

Анализ графика (рис. 2) показывает, что коэффициент корреляции составляет  $0,95 \pm 0,07$ . Это говорит о тесной связи между рассматриваемыми признаками, поэтому

формулу (3) можно рекомендовать для практического использования.

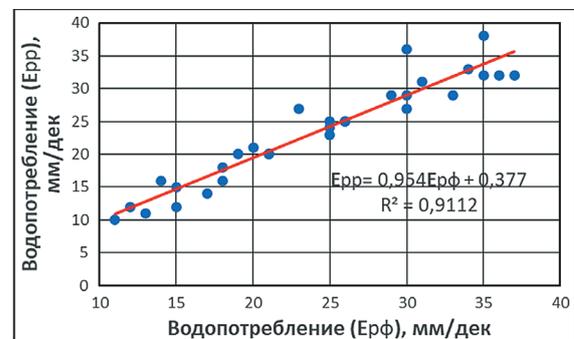


Рис. 2. Прямая связи суммарного водопотребления при возделывании красного клевера, полученная по данным, рассчитанным по зависимостям (3)  $E_{рр}$  и (7)  $E_{рф}$   
Fig.2. Direct relationship of total water consumption in the cultivation of red clover, obtained from the data calculated from the dependencies (3)  $E_{рр}$  and (7)  $E_{рф}$

### Выводы

С целью повышения продуктивности красного клевера в южно-таежной подзоне Нечерноземья России следует проводить поливы в засушливые периоды вегетации. Выполненное экспериментальное исследование является эксклюзивным, потому что на дерново-подзолистых почвах возвышенных территорий южно-таежной подзоны России при производстве красного клевера:

- установлена зависимость между испарением с водной поверхности ( $E_0$ ) и дефицитом влажности воздуха ( $ds$ ), получено уравнение регрессии между данными характеристиками (ограничения по дефициту влажности воздуха – 22-80 мб/дек.);

- определена закономерность изменения суммарного водопотребления при возделывании красного клевера ( $E_{pp}$ ) от испарения с водной поверхности (испаряемости) ( $E_0$ ), получена формула для расчета суммарного водопотребления исследуемой культуры (ограничение по испаряемости ( $E_0$ ) – 12-44 мм/дек.). Кроме того, получены численные значения по коэффициентам  $K_{рп}$  перехода от испарения с водной поверхности к потенциальному суммарному испарению, биологические коэффициенты  $K_0$  для красного клевера и коэффициенты  $K_v$ ,

учитывающие отклонение влажности почвы от наилучших значений для условий дерново-подзолистых почв водоразделов южно-таежной подзоны Нечерноземья России;

- определена закономерность изменения расчетного суммарного водопотребления ( $E_{pp}$ ) от фактического водопотребления при возделывании красного клевера ( $Eф$ );

- установлена связь между суммарным водопотреблением при возделывании красного клевера, полученным при использовании данных дефицита влажности воздуха ( $ds$ ), и суммарным водопотреблением, полученным при использовании данных испарения с водной поверхности ( $E_0$ ).

Организациям по проектированию оросительных систем следует применять формулу для расчета суммарного водопотребления красного клевера с использованием испаряемости, биологических коэффициентов и коэффициентов, учитывающих снижение влажности почвы. Сельскохозяйственным организациям предлагается применять результаты эксперимента при расчете эксплуатационного режима орошения.

В последующем планируется выполнять экспериментальные исследования с другими растениями и иными технологиями полива.

### Библиографический список

1. Алпатьев А.М., Остапчик В.П. К обоснованию формирования поливных норм с использованием биоклиматического метода расчета суммарного испарения // Мелиорация и водное хозяйство. – 1971. – Вып. 19. – С. 13-17.
2. Бudyko М.И. Тепловой баланс земной поверхности. – Л.: Гидрометеиздат, 1956. – 256 с.
3. Голованов А.И., Пчелкин В.В., Али М.С. Связь испарения с водной поверхности с водопотреблением сельскохозяйственных культур на осушаемых пойменных землях // Природобустройство. – № 3. – 2012. – С. 16-20.
4. Данильченко Н.В. Методические особенности расчета оросительных норм с.-х. культур в НЧЗ РСФСР // В кн.: Техника и технология механизированного орошения. – М., 1982. – С. 177-186.
5. Дубенок Н.Н., Бородычев В.В., Чечко Р.А. Малоинтенсивное дождевание картофеля в Нижнем Поволжье: Монография. – М.: Проспект, 2017. – 176 с.
6. Иванов Н.Н. Об определении величины испаряемости // Известия Всесоюзного географического общества. – 1954. – Т. 86. Вып. 2. – С. 189-196.
7. Константинов А.Р. Испарение в природе. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – С. 307-319.
8. Костяков А.Н. Основы мелиорации. – М.: Сельхозгиз, 1960. – С. 54-66.
9. Мелиорация земель: Учебник для вузов / А.И. Голованов, И.П. Айдаров, М.С. Григоров и др. – М.: СПб.: Лань, 2015. – 816 с.
10. Никольский Ю.Н. Оптимизация водного режима осушаемых земель грунтового типа питания: Автореферат дис. ... д-ра технических наук. – М.: МГМИ, 1988.

### References

1. Alpatjev A.M., Ostapchik V.P. K obosnovaniyu formirovaniya polivnyh norm s ispolzovaniem bioklimaticheskogo metoda rascheta summarnogo isparenija // Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. – 1971. – Vyp. 19. – S. 13-17.
2. Budyko M.I. Teplovoj balans zemnoj poverhnosti. – L.: Gidrometeoizdat, 1956. – 256 s.
3. Golovanov A.I., Pchelkin V.V., Ali M.S. Svyaz isparenija s vodnoj poverhnosti s vodopotrebleniem selskohozyajstvennyh kultur na osushaemyh pojmennyh zemlyax // Prirodoobustrojstvo. – № 3. – 2012. – S. 16-20..
4. Danilchenko N.V. Metodicheskie osobennosti rascheta orositelnyh norm s.-h. kultur v NChZ RSFSR. / V kn.: Tehnika i tehnologiya mehanizirovanogo orosheniya. – M., 1982. – S. 177-186.
5. Dubenok N.N., Borodychev V.V., Chechko R.A. Malointensivnoe dozhdovanie kartofelya v Nizhnem Povolzhje: monografiya. – M.: Prospekt, 2017. – 176 s. ISBN978-5-392-24871-1.
6. Ivanov N.N. Ob opredelenii velichiny isparyaemosti // Izvestiya Vsesoyuznogo geograficheskogo obshchestva. – 1954. – t. 86. vyp. 2. – S. 189-196.
7. Konstantinov A.R. Isparenie v prirode. – L.: Gidrometeoizdat, 1968. – S. 307-319.
8. Kostyakov A.N. Osnovy melioratsii. – M.: Selhozgiz, 1960. – S. 54-66.
9. Melioratsiya zemel. Uchebnik dlya vuzov / A.I. Golovanov, I.P. Ajdarov, M.S. Grigorov i dr. – M.: SPb.: Lan, 2015. – 816 s.
10. Nikolskij Yu.N. Optimizatsiya vodnogo rezhima osushaemyh zemel gruntovogo tipa pitaniya/ Avtoreferat doktorskoj dissertatsii. – M.: MGMI, 1988.

11. Пчёлкин В.В., Сергеева А.М., Кузина О.М. Водопотребление красного клевера на дерново-подзолистых почвах водораздельных площадей Нечерноземной зоны // Научная жизнь. – 2020. – Т. 15. – Вып. 9. – С. 1186-1194.

12. Abdel-Hafez S.A., Bengamen I.S., El-Tantawy M.M. Estimation of water needs for vegetable crop in the old lands / S.A. Abdel-Hafez I.S. Bengamen, M.M. El-Tantawy W.L. Mesiha and G.M. Gad El-Rab // Meteorological Research Bulletin. – Egyptin, meteorological Authority. – 2001. – Vol. – № 16. – Pp. 106-121.

13. Badr A.E., Bakeer G.A. Sprinkler and trickle irrigation affected by climatic conditions in upper Egypt / A.E. Badr, G.A. Bakeer, M.T. El-Tantawy and A.H. Awwad // Misr J. Ag. Eng. – 2006. – № 23 (2). – Pp. 346-361.

14. Eid H.M., Ainer N.G., Metwally M.A. Estimation of irrigation and temoerature needs for the new pods in Egypt Conf // of Agri. Sci. On food Deficiency Overcoming Through Autonomous Efforts in Egypt Mannsoura Univ. – 1987. – Pp. 907-914.

15. Klatt F. Die Steuerung den Beregnung nach dem Beregnungsdiagramm // Z. Landeskultur. – 1967. № 2. – S. 89-98.

16. Optimum control model of soil water regime under irrigation / A.S. Ovchinnikov, V.V. Borodychev, M.N. Lytov, V.S. Bocharnikov, S.D. Fomin, O.V. Bocharnikova, E.S. Vorontsova // Bulgarian journal of agricultural Science. – 2018. – № 24 (5). – Pp. 909-913.

17. Steven R. Evett, Kenneth C. Stone, Robert C. Schwartz, Susan A. O'Shaughnessy, Paul D. Colaizzi, Scott K. // Anderson & David J. Anderson Resolving discrepancies between laboratory-determined field capacity values and field water content observations: implications for irrigation management. – Irrigation Science, 2019. – Vol. 37. – Pp. 751-759.

18. Zin El-Abedin T.K. Improving moisture distribution pattern of subsurface drip irrigation in sandy soil by using synthetic soil conditioner // Misr J. Ag. Eng., 2006. – № 23 (2). – Pp. 374-399.

#### Критерии авторства

Пчёлкин В.В., Сергеева А.М. выполнили теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 17.08.2022 г.

Одобрена после рецензирования 18.10.2022 г.

Принята к публикации 25.10.2022 г.

11. Pchelkin V.V., Sergeeva A.M., Kuzina O.M. Vodopotreblenie krasnogo klevera na dernovo-podzolistykh pochvax vodorazdelnykh ploshchadej Nechernozemnoj zony // Nauchnaya zhizn. – 2020. – Tom 15. Vyp. 9. – S. 1186-1194.

12. Abdel-Hafez S.A.; Bengamen I.S.; El-Tantawy M.M.; Mesiha W.L.; and G.M. Gad El-Rab. (2001). Estimation of water needs for vegetable crop in the old lands. Egyptin, meteorological Authority, Meteorological Research Bulletin, Vol. 16: 106-121.

13. Badr A.E.; Bakeer G.A.; El-Tantawy M.T. and A.H. Awwad. (2006). Sprinkler and trickle irrigation affected by climatic conditions in upper Egypt. Misr J. Ag. Eng., 23(2): 346-361.

14. Eid H.M.; Ainer N.G.; Metwally M.A. (1987). Estimation of irrigation and temoerature needs for the new pods in Egypt Conf. of Agri. Sci. On food Deficiency Overcoming Through Autonomous Efforts in Egypt Mannsoura Univ. Pp. 907-914.

15. Klatt F. Die Steuerung den Beregnung nach dem Beregnungsdiagramm. – Z. Landeskultur, H. 2, 1967, s. 89-98.

16. Optimum control model of soil water regime under irrigation [Tekst]/ A.S. Ovchinnikov, V.V. Borodychev, M.N. Lytov, V.S. Bocharnikov, S.D. Fomin, O.V. Bocharnikova, E.S. Vorontsova // Bulgarian journal of agricultural Science. – № 24 (5). 2018. – P. 909-913.

17. Steven R. Evett, Kenneth C. Stone, Robert C. Schwartz, Susan A. O'Shaughnessy, Paul D. Colaizzi, Scott K. // Anderson & David J. Anderson Resolving discrepancies between laboratory-determined field capacity values and field water content observations: implications for irrigation management / Irrigation Science volume37, pages751-759(2019) Cite this article.

18. Zin El-Abedin T.K. (2006). Improving moisture distribution pattern of subsurface drip irrigation in sandy soil by using synthetic soil conditioner. Misr J. Ag. Eng., 23(2): 374-399.

#### Criteria of authorship

Pchelkin V.V., Sergeeva A.M. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Pchelkin V.V., Sergeeva A.M. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

#### Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 17.08.2022

Approved after reviewing 18.10.2022

Accepted for publication 25.10.2022